

## MEMORIAS CIENTÍFICAS I LITERARIAS.

---

*IRRIGACION.—Distribucion de aguas.—Memoria premiada en el certámen anual de la Facultad de ciencias físicas i matemáticas para 1875, por los ingenieros don Enrique Fonseca i don José Manuel Figueroa.*

### I.

1.—En agricultura se necesita como primer elemento el agua; ésta humedece el terreno, facilitando así su labranza; ayudada por el calor solar, provoca la jermiacion de las semillas; i por su accion disolvente, facilita la asimilacion de principios minerales necesarios al desarrollo de la vejetacion.

El agua que se emplea para esto, proviene directamente de las lluvias o se estrae de los rios por medio de obras artificiales. En el primer caso, hai incertidumbre en el cultivo; en el segundo, éste se ordena i perfecciona. La carencia de lluvias i su falta de periodicidad regular, hacen de la agricultura en aquél, un arte precario i poco provechoso. La marcha ordenada de los regadíos artificiales da al terreno una fuerza productora antes desconocida.

Para producir las irrigaciones artificiales, son necesarias ciertas obras en la fuente dedonde se obtiene la provision de aguas, en los canales que los trasportan, en la division i aún en su empleo inmediato.

Nos ocuparemos de las obras necesarias a la distribucion, contrayéndonos previamente a algunas consideraciones jenerales.

Los rios son las fuentes principales de toda irrigacion. Sus aguas no tienen siempre un mismo carácter de permanencia, pues varian con el origen de aquéllos.

Rios hai que están formados por la filtracion de las aguas almacenadas en terrenos permeables superiores, depositadas en ellos por las lluvias. Estos terrenos son verdaderos filtros naturales que hacen el oficio de reguladores, por lo cual el caudal del rio que de ellos emana varia con una periodicidad regular. El volú-

men de sus aguas oscila anualmente entre ciertos límites casi fijos.

Otros hai cuyo origen proviene del derretimiento de las nieves. El terreno dedonde nacen es una cadena de montañas de bastante elevacion para poder conservar nieves anuales. Estos terrenos son comunmente sólidos, desprovistos de permeabilidad. El derretimiento de las nieves alimenta directamente los rios, sin intermediarios regularizadores.

En los rios de la primera clase, sus variaciones anuales son regulares i continuadas. En los de la segunda, la variacion sigue a la temperatura i oscila, por consiguiente, del dia a la noche, de una estacion a otra. La representacion gráfica de los del primer jénero, seria una curva cerrada; la de los del segundo, una sinusoida infinita.

El uso mismo que de las aguas se hace, introduce consideraciones que es necesario tomar en cuenta.

Con relacion a este órden, sucede que un rio posee un caudal suficiente en todo tiempo para satisfacer por completo los derechos adquiridos. Igualmente se verifica en otros, pero solo en ciertas épocas del año, siendo deficiente en las restantes. Finalmente, otros muestran esta deficiencia en todas.

2.—Cualquiera que sea el método de irrigacion que se use, siempre tiene por base un canal tronco, canales secundarios i acequias regadoras.

Los canales troncos tienen derechos fijos o proporcionales, segun las circunstancias de los rios que los alimentan.

Así, por ejemplo, si se trata de rios como el Ganjes, cuyas variaciones de caudal no influyen en las dotaciones fijas de los canales que de él se derivan, por lo abundante de sus aguas, pueden extraerse de ellos canales a volúmen fijo de agua, teniendo, por consiguiente, canales troncos, secundarios i acequias regadoras de dotacion fija, o sea, a volúmen constante. Si, por el contrario, las aguas no alcanzan a satisfacer las dotaciones fijas de los canales troncos, como sucede en los rios Maipo, Cachapoal i demás del norte de Chile, entonces este caudal, distribuido segun los derechos, o en partes proporcionales a éstos, entre todos los canales salientes, dará caudales *variables*, pero proporcionales entre sí. Por lo cual un caudal de este jénero conduce a canales troncos, secun-

darios i acequias regadoras a *volúmenes variables, pero constantemente proporcionales entre sí.*

Si la penuria de los rios, fuentes de regadíos, llega a ser tal como la que tenemos en los rios de Coquimbo, Huasco i Copiapó, no siendo posible la primera repartición indicada, la segunda conduciría a canales de poca alimentación, cuya mayor parte se pierde en los largos trayectos de las acequias conductoras por la filtración i la evaporación. Este estado de cosas conduce a los *turnos periódicos.*

En resumen, rios de caudal mas o menos variable cuyas aguas mínimas satisfacen por completo las mayores exigencias de la industria agrícola con sobrante o sin él en el cauce matriz, se prestan a *distribución a volumen fijo.* Rios cuyo caudal mínimo es menor que la suma de las dotaciones a volumen fijo, exigidas por los terrenos que alimentan, solo se prestan a una *división proporcional con dotación variable.* Finalmente, si aún las grandes creces anuales son insuficientes para satisfacer esta necesidad i los rios que deben satisfacerlas son de caudales relativamente insignificantes, *la distribución a turno* es la única posible.

3.—Así, pues, la partición de aguas tiene un triple carácter i presenta tres casos distintos que es necesario estudiar separadamente.

Basados en estas consideraciones, dividiremos en tres partes la presente memoria:

Repartición de aguas a volumen fijo;

Repartición de aguas a volumen variable i derechos proporcionales;

Repartición de aguas a turno con volumen variable i derechos proporcionales en cada *distributo regador.*

## II.

4.—La repartición de aguas a volumen fijo necesita una unidad compuesta, que se refiere a la unidad de volumen i a la de tiempo.

Tomaremos para la primera el *metro cúbico*; para la segunda, el *segundo.*

Así, definiremos un canal de 37 metros cúbicos por segundo, al

que contiene una cantidad de agua tal que, vaciada en una capacidad no permeable, ocupa en ella 37 metros cúbicos en un segundo de derrame, 74 metros cúbicos en dos segundos, etc.

La costumbre en la industria i el uso ya conocido de cierto valor natural, han hecho que este sencillo sistema de medida no haya tenido el desarrollo i aplicacion que debiera i en su lugar se ha empleado otro caprichoso i que adolece esencialmente de las faltas de fijeza i exactitud. Asi, en los diversos países agricolas se usa de las unidades conocidas bajo los nombres de pulgada del fontanero, onza de Milan, módulo de Henares, módulo de Marsella, regador en Chile, etc.

En jeneral, con ellos mas se ha perseguido el establecimiento de un aparato que la planteacion de una verdadera unidad; sin embargo, aparece en éstos que lo que se ha querido es tomar por unidad una corriente conocida de agua, la que no puede ser perfectamente determinada si no se conoce su valor, o sea, el número de metros cúbicos o litros que conduce en un segundo.

Conformándonos con la práctica corriente de fijar la unidad de este último modo, con la circunstancia de conocer su valor, nos ocuparemos previamente de las siguientes consideraciones, que son necesarias para poder apreciar ciertas disposiciones adoptadas en ellas.

5.—Como antes hemos dicho, la irrigacion de una porcion considerable de terreno exige un canal principal o tronco, que nace del rio, canales secundarios que nacen de éste i que pueden pertenecer a uno solo o a varios propietarios. Los primeros son jeneralmente caudalosos i profundos, para economizar los costos que un canal ancho exijiria por la compra de terrenos, i las dimensiones que necesitarian los acueductos, puentes, etc. Los segundos son jeneralmente de mediana consideracion, por lo cual i con el fin de permitir sacar sus aguas con facilidad sobre la superficie del terreno, son de poca profundidad i relativamente anchos.

Estas dos condiciones distintas i que colocan cada clase de canal en circunstancias particulares características exigen dos sistemas de particion diferentes que no se pueden aplicar sin discernimiento.

La naturaleza de los primeros permite el empleo de compuertas i tabiques hidrométricos, el establecimiento de orificios de de-

rrame i de todos aquellos elementos que anulen las velocidades estrañas a la producida por la particion misma i que es la única que debe tomarse en cuenta.

La segunda clase de canales no permite el establecimiento de ninguna de las obras anteriores; pero en cambio su poca hondura hace que las diversas velocidades de todos los hilos de agua estén mas cerca de la velocidad média de la corriente, i como tienen constantemente un mismo caudal, puede emplearse en ellos una simple particion por *puntas de diamante*, o sea, por el sistema morisco.

6.—La distribucion entre los canales troncos i secundarios ha preocupado siempre a los agricultores i ha producido una considerable variedad de *unidades* mas o menos adecuadas al objeto a que se le destina. Desde hace tres siglos se ha estudiado en Italia, dando por resultado que la *onza de Milan* es reputada como la mas perfecta. Sin embargo, la apreciacion absoluta de esta unidad en valores de capacidad varia de 36 a 47 litros por segundo.

Antes de entrar en el estudio de los sistemas conocidos, indicaremos las bases jenerales que sirven para la apreciacion de estos aparatos destinados a medir i distribuir las aguas de un canal matriz entre sus derivados.

7.—Estas bases son:

1.ª Las tomas de los canales de derivacion deben producir, en tiempos iguales, cantidades de agua proporcionales al número de unidades que cada uno posee.

2.ª Para una misma toma, el caudal debe permanecer constante, cualesquiera que sean las variaciones que ocurran en el canal matriz.

3.ª El aparato regulador que permite pasar una unidad o el que permite pasar un número de estas unidades, debe constituirse de tal modo que sea imposible alterar el caudal a que deja libre curso, sin dejar demostraciones de los daños causados.

4.ª La maniobra del mismo aparato debe ser sencilla para que los ajentes del servicio puedan ejecutarla sin dificultad.

5.ª La construccion debe ser tal que no haya que calcular mas que una sola dimencion, permaneciendo las demás constantes para una o muchas unidades.

6.ª La fábrica debe ser poco voluminosa para que sea practicable en todas partes.

7.<sup>a</sup> Debe servir para toda clase de aguas, cualquiera que sea su estado de limpieza.

8.<sup>a</sup> Los marcadores de nivel deben ser de fácil vijilancia, perfectamente fijos, de modo que baste la simple vista para inspeccionar su estado.

La esposicion de estas bases manifiesta su objeto i utilidad i no hai unidad que pueda impunemente adolecer de falta de alguna de ellas, sin que inmediatamente en la práctica aparezcan serios inconvenientes.

8.—Muchos son los sistemas propuestos para practicar la division de que nos ocupamos; pero todos ellos pueden reducirse a cuatro tipos principales, que son: *La onza de Milan*, *el módulo de Henares*, *el de Marsella* i *el regador chileno*.

9.—La onza de Milan, representada en las figuras 1 i 2, es la cantidad de agua que pasa por un orificio rectangular de 0, 20<sup>m</sup> de altura por 0,15<sup>m</sup> de base, bajo la presion de una columna de agua de 0,10<sup>m</sup> sobre el borde superior de esta abertura. (1)

Para sacar un caudal de un número dado de onzas, basta, segun la costumbre i uso lombardos, ejecutar un orificio en las mismas condiciones que el anterior, es decir, en la misma altura i carga, pero con un ancho tantas veces mayor cuantas onzas deben extraerse.

Las bocas de este sistema se ejecutan al cincel en una laja de piedra dura, i su perimetro está guarnecido por un marco de hierro. Las paredes en que se labra esta obra tienen un espesor de 0,03<sup>m</sup> a 0,06<sup>m</sup> sin alargadera ni disposicion especial i la costumbre varia entre los límites indicados.

Las disposiciones jenerales son segun las figuras 1 i 2:

La toma *a b* está en la ribera del canal matriz, i la forman dos muros laterales.

El suelo de la toma se coloca jeneralmente al mismo nivel que el fondo del canal i se pavimenta con un empedrado o con albañileria. La abertura *a b* tiene el mismo ancho que la base del orificio *h g*. La altura tiene por límite la del abra.

La parte principal del aparato consiste en una compuerta hidrométrica colocada en el orijen de la toma. Por medio de ella se

---

(1) Nadault de Buffon.

umenta o disminuye el acceso al agua del canal, para conservar la permanencia de la altura de presión ( $0,10^m$ ) sobre el borde superior del orificio *g h*. Esta compuerta es movida por los ajentes del servicio.

Antes i después del orificio la toma presenta dos compartimientos contruidos de albañilería. El primero, llamado compartimiento cubierto (*tromba coperta*) está situado entre la compuerta i la boca del módulo. Su largo es de 6 metros. Su ancho es igual al del orificio mas  $0,^m 50$  repartidos por mitad entre ambos costados. El fondo de esta seccion está dispuesto en rampa, con un ascenso uniforme de  $0,^m 40$  sobre el largo, hasta terminar en el borde inferior de la boca. Otra disposición, pero accesoria, consiste en cubrir el primer compartimiento con un cielo raso amortiguador (*piano morto*), cuya superficie inferior engrasa con el nivel del agua a los  $0,^m 10$  sobre el borde superior del orificio. Su objeto es amortiguar los torbellinos formados por el agua al salir de la compuerta i disminuir en lo posible la velocidad ajena al derrame.

Hace ya algun tiempo que se ha desechado esta disposición en la práctica por inútil.

Detrás de la compuerta existe un umbral de piedra, sumerjido  $0,^m 10$  bajo el nivel que debe alcanzar el agua. La hondura de ésta bajo el umbral es de  $0,^m 60$ ; para verificar la efectividad de los  $0,^m 10$  de agua que deben existir sobre el borde superior del orificio, se deja entre la compuerta i el umbral un pequeño vacío, en el cual se introduce una regla con la que se mide  $0,^m 70$  de hondura que debe tener el agua en este punto.

Después del orificio sigue la seccion descubierta, cuyo largo es de  $5^m 40$ . Su ancho es el del orificio aumentado en  $0,10^m$  por cada lado en el arranque; en la otra estremidad, se aumenta del mismo modo  $0,15^m$  a mas de los  $0,^m 10$  anteriores. El fondo de esta seccion nace  $0,^m 05$  bajo la base inferior del orificio i en todo su largo tiene una pendiente de  $0,05^m$  uniformemente distribuida. El canal en su construcción no está sujeto a regla alguna.

10.—Las figuras 3, 4, 5 i 6 representan el módulo usado en los canales de Henares i Esla (1) que no es sino una modificación del anterior en el cual se ha agregado un tabique amortiguador que

(1) Byrn-Spon.

anula casi por completo las velocidades independientes del derrame; además se reemplaza el orificio por un vertedor de caída libre. La figura 3 representa una vista de la toma por el lado del canal matriz; la 4 da un corte longitudinal; la 5 un corte trasversal junto al tabique central amortiguador; la 6 la proyección horizontal. En este módulo, como en el anterior, se emplea el mismo sistema para sacar un número determinado de unidades de agua; es decir, se hace un vertedor que tenga un ancho igual al del vertedor de un módulo por el número de módulos que se quiere sacar.

11.—La figura 7 representa el módulo de Marsella (2). Este módulo es el más ingenioso de los conocidos hasta el presente, simple en su construcción, evita automáticamente las variaciones del nivel. Se compone de un orificio circular dentro del cual pasa una campana de diámetro menor i decreciente hacia arriba i sujeta un flotador que la hace subir o bajar según la mayor o menor altura que toman las aguas en el canal matriz, que ocupa la parte superior de la construcción i descansando sobre una bóveda, bajo a cual tiene su origen el canal derivado. La decrecencia del diámetro de la campana hace que cuando las aguas suben, el anular entre ellas i el orificio decrezca en relación al aumento de presión que produce la mayor altura de agua del canal matriz, i habiéndose calculado el perfil de la campana de modo que la disminución de sección compense el aumento de presión, se obtiene por este medio un derrame constante.

12.—El regador de Chile comprende dos casos distintos, que es necesario distinguir. El primero es fijado por el senado-consulta de 18 de noviembre de 1819 que dice: “Conformándome con lo acordado por el Excmo. Senado en 5 del corriente, vengo en declarar por regla jeneral: que el regador, bien sea del canal de Maipo o de cualesquiera otros rios se compondrá en adelante de una sesma de alto (0.<sup>m</sup>139) i de una cuarta de ancho (0.<sup>m</sup>209) con el desnivel de quince pulgadas (0.<sup>m</sup>348), el que se aprecia en 750 pesos, cuya venta solo se verificará en dinero de contado; previéndose que así como al que necesitare más cantidad de agua que la que corresponde a un regador se le puede vender en mayor



número los regadores, así el que necesitare menos, nunca podrá bajar de la mitad, que los marcos i boca-tomas serán de cuenta del comprador, quedando al cuidado del Gobierno, nombrar personas de su satisfacción, que señalen el lugar donde debe fijarse el marco i abrirse la boca-toma con el declive insinuado. También se declaran libres los rasgos o tránsito de las aguas por cualquier terreno que pasen o sean convenientes al comprador, a no ser por aquellos donde haya plantas, en cuyo caso éstos podrán convenirse con el propietario. I para que llegue a noticia de todos, insértese en la *Gaceta Ministerial*.—O'HIGGINS—Cruz."

El segundo lo fija el cap. 6.º de los estatutos del canal de Maipo, publicados en 1858, que dice:

"Art. 55. Para establecer un marco debe formarse en el canal un emplantillado de piedra o de ladrillo, de ocho varas de largo (6.<sup>m</sup> 684), sin desnivel, con tres puentes colocados en el suelo, uno a cada uno de los extremos del emplantillado, i otro en el medio, i debiendo ser cada uno del ancho de un ladrillo. Los costados o paredes del canal, se harán también de cal i ladrillo con dos ladrillos de ancho. En el centro de este emplantillado debe colocarse el marco partididor.

"Art. 56. Desde el emplantillado debe formarse al canal un plano de cincuenta varas (41.<sup>m</sup> 775), en línea recta para arriba, i con doce pulgadas de desnivel.

"Art. 57. Al fin del emplantillado, tendrá una caída igual el marco saliente a la del marco pasante, cuya caída no deba exceder de una tercia de vara (0.<sup>m</sup> 278).

"Art. 58. Todos los canales pasantes deben ir en línea recta, i los salientes en línea oblicua.

"Art. 59. Los marcos que se hagan nuevos, i los que estén destruidos o mal colocados, se construirán con una punta de diamante de piedra, que forme un ángulo de 15º con el resto de la tijera; por la base de atrás de la tijera será de una i cuarta varas (1.<sup>m</sup> 044). En la misma forma se construirán todos los marcos que fuere necesario rehacer.

"Art. 60. A cada marco deberá ponerse detrás de la punta de diamante, a la media vara (0.418), una escala que señale la demarcación.

"Art. 61. Los marcos deben ser de una vara (0.<sup>m</sup> 835) de alto

i de pulgada i média (0.<sup>m</sup>035) por regador, arregiados al modelo del plano que existe en la junta de directores.

“Art. 62. Todo marco debe tener, además, un plano inclinado de veinte varas (16.<sup>m</sup>710) después del horizontal, con un desnivel de doce pulgadas (0.<sup>m</sup>278) o menos, según la localidad de los marcos.”

13.—Antes de estudiar bajo las bases apuntadas con el núm. 7 las unidades descritas anteriormente, es necesario entrar en ciertas consideraciones técnicas, que sirven para la apreciación del valor de esas unidades i para establecer el valor relativo de dos corrientes de agua.

Sea:

*C*—Caudal en metros cúbicas por segundo de tiempo, que corre por un orificio rectangular en pared vertical i delgada, bajo las siguientes condiciones:

*l*—Ancho del orificio.

*h*—Altura del agua sobre el borde superior del mismo.

*H*—Altura del agua sobre el borde inferior.

*m*—Coeficiente de contracción que varia con la carga de agua, con las dimensiones del orificio i con lo completo o incompleto de la contracción.

Se tiene:

$$C=2,953 \ m \ l \ (H^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}}) \dots\dots\dots(1).$$

De esta fórmula resulta que para un mismo orificio, con una misma carga de agua, el derrame permanece constante.

Si el coeficiente *m* de contracción no variara con las dimensiones del orificio, la cantidad de agua que sale por segundo seria directamente proporcional al ancho *l*, siempre que las alturas *H* i *h* conservaran su mismo valor. Pero como *m* aumenta a medida que aumenta *l*, resulta que desaparece la proporcionalidad anterior, haciendo que los valores de *C* sigan una escala mas ascendente que los de *l*.

Si conservamos las mismas anotaciones anteriores para el caso de un vertedor, *h* será 0 i se tendrá:

$$C=2,953 \ m \ l \ H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(2).$$

De la cual se sacan las mismas conclusiones anteriores.

Si tratamos de canales, estudiaremos el régimen constante, que es el único que debe ocurrir en la práctica, pues el permanente es difícil someterlo al establecimiento de una unidad.

El estudio del régimen variable nos ocupará al tratar de la división proporcional.

En el régimen constante se verifica que, siendo:

- P*—Perímetro mojado,
- S*—Sección transversal de la vena de agua,
- C*—Caudal por segundo de la misma,
- L*—Largo correspondiente a un metro de desnivel en el canal,
- V*—Velocidad média de la corriente,
- I*—Inclinación del fondo del canal con el horizonte en grados,
- B*—Coeficiente constante relativo al rozamiento del agua en las paredes del canal,

Se tiene:

$$C=50 S \sqrt{\frac{S}{L P}} \dots\dots\dots (3)$$

$$V=50 \sqrt{\frac{S}{L P}} \dots\dots\dots (4)$$

$$h = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (5)$$

$$2 h' \angle h \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{d}{d h} \frac{L}{h} = \frac{V^2 d^5}{V g S d^5} \frac{B V^2}{\text{sen } I - \frac{P}{S}} \dots\dots\dots (7)$$

llamamos *h* la hondura del agua en el canal i *h'* la altura correspondiente a la velocidad del agua en el canal.

La fórmula (3) nos manifiesta que el caudal en metros cúbicos que un canal transporta por segundo, depende solo de la sección transversal de la vena de agua, del perímetro mojado por ella i del largo correspondiente a una unidad de desnivel, o sea, de la pendiente del fondo del canal.

La fórmula (4) muestra que la velocidad depende de los mismos elementos que el caudal.

Como estas fórmulas se refieren al régimen constante, se nece-

sita caracterizar este régimen, para lo cual sirven las fórmulas (5, 6 i 7).

La fórmula (7) es la ecuación de la superficie del agua referida a los siguientes ejes coordenados, el fondo del canal i una línea vertical.

El régimen constante se verifica cuando la superficie del agua es paralela al fondo del canal, i como el primer miembro de la ecuación (7) es la co-tangente del ángulo que la superficie forma con el eje del canal, debe tener un valor infinito para que exista el paralelismo. Para que el segundo miembro sea infinito, es preciso que siendo el numerador positivo el denominador sea cero. Para que el numerador sea positivo debe verificarse la fórmula (6), i para que el denominador sea cero

$$\text{sen } I - \frac{P}{S} B V^2 \text{ debe ser cero.}$$

Como tenemos que

$$L = \frac{1}{\text{sen } I}$$

$$\frac{1}{B} = 2500$$

resulta que para que el régimen sea constante deben verificarse las ecuaciones

$$L = 2500 \times \frac{S}{PV} \dots\dots(8) \text{ o bien}$$

$$L = 2500 \times \frac{S^2}{FC} \dots\dots(9)$$

simultáneamente con la condición (6), la que entrando en las ecuaciones anteriores da:

$$L > 2500 \frac{S}{Pgh} \dots\dots(10)$$

14.—MÓDULO DE MILAN.—Apliquemos a esta unidad los principios jenerales del núm. 7.

La primera dice: *Las tomas de los canales de derivacion deben producir en tiempos iguales cantidades de agua proporcionales al número de unidades que cada uno posee.*

Para hacer la aplicación de este principio debemos conocer la manera cómo se produce el derrame del agua en este módulo i los elementos que la determinan.

Las causas que fijan esta unidad son la invariabilidad de las dimensiones del orificio i la de la carga sobre su borde superior.

Si no existieran otros elementos que los anteriores, el derrame seria constante i su valor seria el que se desprende de la ecuacion (1). En el interior del primer compartimiento no existiria mas movimiento que el que ocasiona el derrame mismo i que prácticamente no tiene influencia en el valor asignado por la ecuacion anterior.

Las causas que producen variacion en esta unidad, son:

El hecho de no efectuarse el derrame en pared delgada, pues no existe disposicion que fije el espesor del muro frontal del orificio, variando en la práctica entre los límites que le designamos en la descripcion.

El pasaje del agua al traves de la compuerta hidrométrica produce una velocidad especial dentro del primer compartimiento, velocidad que aumenta el derrame por el orificio; pero si esta velocidad estraña permaneciera constante, el derrame no seria influenciado por ella en el sentido de la variacion. En la práctica no sucede esto; pues, si la compuerta hidrométrica hace que prácticamente el nivel del agua permanezca el mismo dentro de la tromba coperta, el aumento o disminucion del nivel del agua en el canal matriz, hace que esta velocidad aumente o disminuya, haciendo variar en el mismo sentido el valor del derrame. La variacion indicada está de manifiesto por la diversidad de valores encontrados para esta unidad: 36 a 47 litros por segundo (núm. 6.)

Por estas razones, el módulo milanés no satisface la primera condicion.

La segunda base que es: *Para una misma toma el caudal debe permanecer constante, cualesquiera que sean las variaciones que ocurran en el canal matriz*, tampoco está satisfecha por las mismas razones que no lo está la primera.

La tercera está perfectamente satisfecha en el módulo en cuestion, como lo manifiesta la descripcion i figuras anexas, con tal que solo el celador tenga la facultad de manejar la compuerta hidrométrica, lo que siempre es posible en la práctica.

La cuarta se encuentra en el mismo caso que la anterior.

La quinta no está cumplida, pues segun el módulo en cuestion,

para establecer una toma que dé un caudal de varias unidades, basta dar al orificio un ancho igual a tantas veces el de la unidad cuantas unidades quieran estraerse.

Esta manera de proceder introduce otra irregularidad en la práctica. Esta es, que permaneciendo invariable todas las demás condiciones, como es costumbre que permanezcan, un orificio doble, triple, etc., en superficie practicado en la forma predicha, da mas que el doble, triple, etc., de la primitiva cantidad de agua, por cuanto el coeficiente  $m$  de contraccion crece con el orificio. Baste decir que seis módulos juntos en la forma anterior dan próximamente 10 por ciento mas aguas que seis módulos aislados, sucediendo lo contrario para las fracciones de módulo. Por estas razones, el ancho de la toma debe calcularse para cada caso.

La sexta condicion está perfectamente satisfecha en el módulo lombardo.

Igualmente lo está la sétima.

La octava es la que mas irregularidades manifiesta, pues el hecho de medir la hondura por una regla o por una señal cualquiera, en la seccion en donde se producen los torbellinos de agua que hacen enteramente irregular su superficie, no da certidumbre de ningun jénero con respecto a esta medida.

Estas causas hacen que consideremos al módulo milanés como imperfecto.

15. MÓDULO DE HENARES.—Para esta unidad están perfectamente satisfechas la 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup>, 3.<sup>a</sup>, 4.<sup>a</sup> i 6.<sup>a</sup> condiciones.

La condicion 5.<sup>a</sup> adolece de los mismos defectos que en la onza milaresa.

La 7.<sup>a</sup> es irrealizable en este módulo, por cuanto las aguas turbias lo embanca i por consiguiente le hacen perder sus buenas cualidades.

La 8.<sup>a</sup> es imposible de realizar en este jénero de módulos, pues los torbellinos hacen que la superficie del agua sea ondulosa, de una manera muy notable.

16. MÓDULO DE MARSELLA.—En éste se satisfacen bien las condiciones 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> i 8.<sup>a</sup>

La 3.<sup>a</sup> no se verifica cuando está sujeto el flotador por cualquier obstáculo, por lo cual el módulo pierde su exactitud sin que a primera vista i con poca detencion, pueda reconocerse esta falta.

La 4.<sup>a</sup> se produce automáticamente por el flotador.

La 5.<sup>a</sup>, no se verifica en manera alguna, pues para cada toma es necesario calcular el orificio i campana en todas sus dimensiones.

La 6.<sup>a</sup> tampoco se cumple, pues exige mucho volumen i da pérdida de altura, por el hecho de hacer el canal derivado bajo el fondo del canal matriz.

La 7.<sup>a</sup> no se verifica cuando el canal principal arrastra grava o pequeños guijarros que interpuestos entre el orificio i la campana, no dejan funcionar el flotador.

17. REGADOR DE CHILE.—Su primera forma, definida por el senado-consulta citado, no ha sido empleada nunca entre nosotros, a lo menos no existen documentos ni recuerdos de que se haya usado, por lo cual trataremos de fijar su valor discutiendo la lei que le dió origen.

Coincidiendo con el documento citado aparece, este se refiere a una vena de agua de 0.<sup>m</sup>209 de ancho por 0.<sup>m</sup>139 de alto, con un desnivel de 0.<sup>m</sup>348 (15 puigadas).

Segun la fórmula (3)

$$C=50 S \sqrt{\frac{S}{LP}}$$

el caudal de la vena en cuestion, o sea el número de metros cúbicos por segundo, queda completamente fijo para un canal de régimen permanente, en el cual se conozca la seccion transversal, el perímetro mojado i el largo para un metro de pendiente.

La seccion transversal vale, segun los datos anteriores:

$$S=0.<sup>m</sup>209+0.139=0.<sup>m</sup>348.$$

El perímetro mojado es

$$P=0.<sup>m</sup>209+2+0.<sup>m</sup>139=0.<sup>m</sup>209+0.<sup>m</sup>278=0.<sup>m</sup>487.$$

Réstanos fijar el valor de la pendiente, o bien el largo L correspondiente a un metro de desnivel.

Para esta investigacion tenemos tres fuentes de consulta, refiriéndonos a la época en que se dictó esta lei, que son:

1.<sup>o</sup> Uso en tratados de la ciencia;

2.º Costumbre en la industria;

3.º Documentos que tratan sobre canales en Chile.

1.º—En ellos se determina siempre la pendiente a razon de tanto por unidad, la que para el presente caso seria la pulgada, vara, cuadra o legua.

Teniendo presente que las aguas del Maipo, a que se refieren las disposiciones mencionadas, contienen en suspension sedimentos que una pequeña pendiente los obliga a depositarse en embanques, i que la esperiencia manifiesta desde tiempo inmemorial que 5 pulgadas por cuadra, el mínimo que no produce embanques, es evidente que las 15 pulgadas no se refieren a la legua, pues en este último caso se tendria una pendiente de  $\frac{15}{56} = \frac{5}{12}$  pulgadas por cuadra.

Si el desnivel se refiere a una pulgada, en vez de corriente de agua tendríamos cascadas; no creemos que nuestros agricultores hayan pretendido establecer caídas costosas de cientos de cuerdas enteramente inútiles en agricultura. Nos queda la vara i la cuadra.

Si el espesado desnivel se refiriese a la vara, los canales en que se encontrasen tales pendientes tendrian su fondo con relacion a la superficie del terreno, que, por lo jeneral, tiene entre nosotros uno por ciento, a la hondura de

$$150 \times 15'' + 6'' = 54'' = 2202,$$

o sea, 64 varas de hondura por la primera cuadra. I si esto sucede en la primera ¿cuál seria la profundidad en los largos canales que sirven a nuestros campos? i cuál seria la utilidad que prestarían a una de nuestras mas ricas industrias?

Así, pues, estas consideraciones conducen a admitir la cuadra por las 15 pulgadas de desnivel, dadas en el senado-consulta que fija el regador legal.

2.º—La costumbre, desde tiempo inmemorial, es que las pendientes i desniveles se hayan dado por cuadra; así decimos con frecuencia: este canal tiene dos pulgadas simplemente, o bien dos pulgadas por cuadra. La costumbre de nuestros agricultores aún en el tiempo presente i a pesar del nuevo sistema de pesos i medidas, es la que dejamos apuntada.

Nuestros sencillos i laboriosos agricultores son conservadores por excelencia, guardan cuidadosamente hasta las mas pueriles



maneras de sus antepasados, i no han innovado, por cierto, en materia de riego, que, a mas de ser complicada, necesita conocimientos que no siempre estan a sus alcances.

3.º—En el archivo de los espedientes seguidos con motivo del canal de Maipo se encuentran documentos que llevan las firmas de los ingenieros militares Atero, Olaguer, Feliú i Cabaliero i algunos del agrimensor Goicolea, que confirman la interpretacion que hemos dado, pues en estos documentos se nota que cuando se habla de un desnivel por cuadra, se dice tantas pulgadas simplemente, o tantas pulgadas por cuadra.

De manera que el desnivel que nos ocupa es de 0<sup>m</sup>348 por 125 metros. Esto da para

$$L=359.2$$

Sustituidos los valores, encontrados para S, P i L en la fórmula (3) resulta:

$$C=50 \times 0.0291 \times \sqrt{\frac{0.0001}{0.187 \times 359.2}} = 0.01833.$$

De manera que segun la lei, el regador chileno contiene en metros cúbicos por segundo 0.01833 o sean 18,33 litros por segundo.

18.—Los estatutos del canal de Maipo no fijan unidad alguna, se limitan a determinar las condiciones bajo las cuales deben hacerse las particiones de agua con relacion al número de regadores que el canal saliente lleva con relacion a los del pasante, fijándose las dimensiones trasversales de ambos a razon de 0,035 por regador, con una hondura comun de 0,035 i con la misma pendiente variable hasta el máximo de 0,278 para el largo de 16,71.

Para establecer de una manera aproximativa el valor de un regador, tendremos que hacer algunas suposiciones que, aun cuando no conducirán a una exactitud matemática, manifestarán un valor numérico con bastante aproximacion, para formarnos una idea del valor de un regador.

Como la hondura que ocupa el agua en los marcos no es constante, variando entre el máximo de 24" (0.0557) al minimum 12" (0.0278), tomaremos la hondura médio de 18" (0.417); i como el fondo del canal antes de llegar al marco consta de dos se-

ciones, de las cuales una tiene 3.<sup>m</sup>342 de largo horizontales i la otra 41.<sup>m</sup>775 con la inclinacion de 0.<sup>m</sup>278 en todo su largo, supondremos, lo que prácticamente se verifica, que los 45.<sup>m</sup>117, que forman las dos secciones, tienen en la superficie del agua que por ellos corre, el desnivel de 0.<sup>m</sup>278.

Como por el marco saliente no puede salir mas agua de la que llega a su boca, i ésta no es otra que la separada por un canal ideal cuyas paredes verticales son: un plano vertical que arranca de la punta de diamante, paralelo a las murallas del canal matriz, i una de las murallas de este mismo canal, teniendo por fondo el mismo de la corriente principal con la pendiente antes indicada, el máximo de agua que el saliente puede llevar será el que puede conducir el canal hipotético de que nos venimos ocupando.

Para hacer el cálculo del caudal que este canal contiene, tenemos que admitir la hipótesis jeneralmente aceptada, que una vez mojadas las paredes de un cauce cualquiera, el agua no tiene que vencer otras resistencias que las que resultan del agua corriendo sobre agua. Bajo la verificación de estas hipótesis [que dan resultados industriales bastante aceptables, procederemos al cálculo de la cantidad média de agua que contiene un regador, fijado segun los estatutos del canal de Maipo.

Los valores que debemos introducir en la fórmula (3) son los siguientes:

$$P=0,^m0350 \times (2 \times 0,418) = 0,^m871$$

$$S=0,^m035 \times 0,418 = 0,^m01463$$

$$L = \frac{45,117}{0,278} = 162,^m3.$$

De manera que

$$C = 50 \times 0,01463 \sqrt{\frac{0,^m0103}{0,871 \times 162,3}} = 0,0075$$

O sea, siete litros cincuenta centésimos (7lit. 50), de modo que los regadores del canal de Maipo, admitiendo la proporcionalidad del caudal a la hondura, en sus aguas máximas llevan diez litros por segundo, lo cual está conforme con las experiencias del señor Lemuhot.

El aparato descrito por los estatutos del canal de Maipo para

obtener este regador, no cumple con ninguna de estas condiciones indispensables para asegurar la fijeza de un caudal de esta especie. Parece que lo que se ha tenido en vista al fijar el aparato de repartición del canal de Maipo, es hacer la distribución proporcional en cauces de volúmen variable; pero como después veremos, ni aún esta partición la hace con exactitud.

Cuando el canal saliente debe llevar un número dado de regadores, practicada la partición en la forma que designan los estatutos del canal de Maipo, la cantidad de agua que conduce es mayor que la suma de regadores estraidos separadamente, como lo pasamos a demostrar.

Segun la forma (3) i conservando las notaciones jenerales tenemos para un regador:

$$C=50XS\sqrt{\frac{S}{L \cdot P}}$$

Introduciendo en lugar de S i P los valores correspondientes a un canal rectangular cuya hondura es  $h$  i cuyo ancho es  $b$ , que son:

$$S=hb \quad , \quad P=b+2h.$$

Se tiene:

$$C=50\sqrt{\frac{b^2h^2}{s(b+2h)}}$$

Supongamos que se trate de una toma que deba llevar  $n$  regadores, el caudal será  $C'$  i el ancho  $n b$ , i tendremos:

$$C'=50\sqrt{\frac{nb^2ns}{L(nb+2h)}}$$

Comparando esta ecuacion con la anterior, tendremos:

$$\frac{C'}{C} = n \sqrt{\frac{n(b+2n)}{(bn+2h)}}$$

Como el numerador es mayor que el denominador, siempre que  $n$  sea un número entero, resulta que:

o bien.  $\frac{C'}{C} > n;$   
 $C' > nC;$

lo que manifiesta que las tomas que contienen  $n$  regadores, segun los estatutos del canal de Maipo i segun la costumbre universalmente admitida, tiene en realidad mayor caudal de agua que el que les corresponde. Por estas razones, deciamos que la manera de acumular los regadores en el canal de Maipo conduce a los mismos vicios que en la onza de Milan.

Manifestaremos con un ejemplo numérico la verdad que teóricamente hemos demostrado. Supongamos que se tiene una boca-toma de diez regadores que se encuentran en las mismas circunstancias de nivel de agua que supusimos para el cálculo del valor medio del regador, lo que nos dará:  $P=$

$$P=0,350+2 \times 0,418=1,186$$

$$S=0,350 \times 0,418=0,1463$$

$$L=\frac{45,117}{0,273}=162,3$$

$$C=50 \times 0,1463 \sqrt{\frac{0,1463}{1,186 \times 162,3}}=0,32016$$

Lo que corrobora nuestra deducción teórica mas allá de los límites de toda presuncion posible.

19.—Con las consideraciones que hemos espuesto, fundadas en las bases que deben servir en la particion de aguas a volúmen fijo, i la valorizacion de las unidades estudiadas, hemos llegado a la evidencia:

1.º De que solo la onza milanese cumple con algunas de las condiciones requeridas para la fijacion de unidades de este jénero;

2.º Que todas las unidades estudiadas, agrupadas segun la costumbre unánime de todos los países agricultores, conducen a exajeraciones en el valor de las tomas que representan una agrupacion de unidades, que redunda en perjuicio de los propietarios de pequeñas cantidades de agua.

Por estas razones proponemos la siguiente unidad, para cuyo caudal aceptamos la valorizacion de diez litros por segundo, valor que tiene la ventaja de estar acorde con el que hemos deducido para regador del canal de Maipo, i que goza de la misma conformidad con el valor obtenido por las esperiencias hechas por el señor Lemuhot.

Adoptando por principio, que la compuerta hidrométrica establecida en la onza del Milanés es el medio de atenuar las variaciones de nivel que ocurren por idénticas causas sobrevenidas en el canal matriz; que la rampla que precede a esta compuerta en el módulo milanés es el único medio de hacer desaparecer de una manera práctica el influjo de la velocidad debida a la presión del agua del canal matriz; que la demarcación de nivel debe hacerse en el punto en que las aguas tienen su velocidad de régimen constante; que solo en canales no torrenciales, para los cuales debe verificarse la condición (10), es en donde puede medirse prácticamente el caudal de las aguas con la exactitud que requiere una distribución equitativa; que estos canales deben tener la pendiente necesaria para evitar los embanques ocasionados por las turbias en las épocas de crece; que para disminuir los elementos que introducen variación en los canales precitados, se debe tener fijo de antemano el nivel que las aguas ocupen en ellos; que solo el ancho del canal debe ser el elemento variable para tomas de caudales diferentes, i el único que debe determinarse por el cálculo, evitando de este modo los defectos del agrupamiento de unidades hecho en la forma acostumbrada en todos los países agricultores, es como hemos llegado a fijar el regador con un caudal de diez litros por segundo, haciendo la agrupación de un número de regadores, no de la manera acostumbrada hasta el presente, sino por cálculo directo del ancho del canal correspondiente, cálculo que se hará según las reglas que damos oportunamente.

20.—El aparato que proponemos para establecer las tomas de los canales secundarios i medir sus aguas consta: 1.º de una compuerta hidrométrica BCE que sirve para los mismos fines que la del módulo milanés; 2.º de un compartimiento de 6 metros de largo por un ancho i una rampla de 0.40 distribuidos en toda su longitud; igual al que corresponde al canal derivado, mas cincuenta centímetros distribuidos en la forma que espresa la fig. 8; 3.º de un canal marcador DIKMLG de 20 metros de largo con una pendiente en su fondo de dos centímetros en toda su extensión, o sea, de un milímetro por metro (próximamente cinco pulgadas por cuadra). Este canal es rectangular i el agua debe ocupar en él la hondura normal de cuarenta centímetros determinada por el índice I, situado en la mitad del largo del canal marcador. El ancho

$\alpha$  depende del número de regadores para que debe servir la toma i se calculará según la fórmula que daremos mas adelante. Después del canal marcador seguirá el canal conductor para el cual no fijamos mas regla que el que tenga una pendiente superior a un milímetro por metro en los primeros cien metros después de su origen.

La compuerta hidrométrica BCE tiene por objeto arreglar la admisión del agua, de manera que la superficie de ella enrase con el índice I del marcador, para lo cual deben visitarse las tomas diariamente. Según los principios de hidrometría, la compuerta admitida reduce a la tercera parte el influjo de las variaciones diarias que sufra, las que no se hacen sentir de una manera apreciable en la práctica en el canal secundario.

El compartimiento con fondo en rampa disminuye, o mas bien casi anula las velocidades irregulares que se producen por el choque de las aguas que salen por bajo de la compuerta, con las que ocupan este compartimiento.

El canal marcador, al cual se le ha dado una pendiente en su fondo, que corresponde al régimen constante según la condicion (10), es tal que, según la práctica, no admite embanques en el caso de aguas turbias, i que, permaneciendo en él constante la pendiente para todas las tomas, solo hace necesario el cálculo de su ancho.

El índice I marca la altura que debe ocupar el agua en el canal; es de una inspeccion fácil i no produce saltos en el agua, evitando así los errores que resultan del empleo del método ordinario.

El ancho  $\alpha$  del canal es el mismo que debe tener la compuerta hidrométrica.

21.—Pasemos a ocuparnos de la manera de determinar el ancho del canal marcador, con relacion a la cantidad de agua que debe medir la toma.

Sea H la altura que debe ocupar el agua en un canal de régimen constante, A el ancho de la vena de agua, o lo que es lo mismo del canal.

La seccion trasversal de la vena de agua será:

$$S=A \times H.$$

El perímetro mojado:

$$P=A+2 H.$$

Como hemos fijado cuarenta centímetros para hondura del agua en el canal marcador i un milímetro por metro para la pendiente, resulta que:

$$S=0.4 \times A, \quad P=0.8.+A, \quad L=1000.$$

Sustituídos estos valores en la fórmula (3) dan:

$$C=50 \times 0,4a \sqrt{\frac{0,4a}{(0.8+a) 1000}}, \text{ o bien:}$$

$$C^2 = \frac{50^2 \times 0,064a^3}{1000 (a+0.8)}, \text{ o } C^2 = \frac{0,16a^3}{a+0,8};$$

de donde resulta:

$$0,16a^3 - C^2a - C^2 \times 0,8 = 0, \text{ i finalmente:}$$

$$a^3 - 6,25C^2a - 5C^3 = 0 \dots (11)$$

Esta ecuacion es de tercer grado i solo tiene una raiz real cuyo valor es

$$(12) \quad a = \sqrt[3]{C^2(2,5 + \sqrt{6,25 - 9,041854 C^2})} + \sqrt[3]{C^2(2,5 - \sqrt{6,25 - 9,041854 C^2})}$$

En esta fórmula, C representa el caudal de agua en metros cúbicos que debe medir la toma, o sea, el número de regadores multiplicado por 0.01, cantidad de agua fijada como valor de un regador.

PRIMER EJEMPLO.—¿Qué ancho debe tener el canal marcador para que el agua que mida sea un regador o bien de diez litros por segundo?

$$\text{Para este caso, } C=0.01, \quad C^2=0,0001;$$

introduciendo este último valor en la fórmula (12), tendremos:

$$a = \sqrt[3]{0,0001(2,5 + \sqrt{6,25 - 9,041854 \times 0,0001})} + \sqrt[3]{0,0001(2,5 - \sqrt{6,25 - 9,041854 \times 0,0001})}$$

$$a = \sqrt[3]{0,0001(2,5 + \sqrt{6,2490958116})} + \sqrt[3]{0,0001(2,5 - \sqrt{6,2490958116})}$$

$$a = \sqrt[3]{0,0001(2,5+2,4998)} + \sqrt[3]{0,0001(2,5-2,4998)}$$

$$a = \sqrt[3]{0,0001 \times 4,9998} + \sqrt[3]{0,0001 \times 0,0002}$$

$$a = \sqrt[3]{0,00049998} + \sqrt[3]{0,00000002}$$

$$a = 0,07936 + 0,00271 = 0,082.$$

SEGUNDO EJEMPLO.—¿Cuál será el ancho del canal para una toma que saca diez regadores, o sea, cien litros por segundo?

$$C = 0,1 \quad \text{i} \quad C^2 = 0,01$$

$$a = \sqrt[3]{0,01(2,5 + \sqrt{6,25 - 9,041854 \times 0,01})} + \sqrt[3]{0,01(2,5 - \sqrt{6,25 - 9,041854 \times 0,01})}$$

$$a = \sqrt[3]{0,01(2,5 + \sqrt{6,15958146})} + \sqrt[3]{0,01(2,5 - \sqrt{6,15958146})}$$

$$a = \sqrt[3]{0,01 \times 4,9818} + \sqrt[3]{0,01 \times 0,0182}$$

$$a = \sqrt[3]{0,049818} + \sqrt[3]{0,000182}$$

$$a = 0,36796 + 0,05667 = 0,4246.$$

Segun los principios adoptados tanto en la onza milanesea como en los estatutos del canal de Maipo, se deberia tener diez veces el ancho de un regador, o sea,  $10 \times 0,082 = 0,820$ , que como se ve, es casi el doble del valor encontrado.

22.—Pasando la toma de sesenta regadores, la fórmula (12) da valores imaginarios para el ancho de los canales medidores, i entonces solo puede determinarse esta dimension por la discusion de los siguientes valores correspondientes a a:

$$a = y \operatorname{sen} \psi^{\circ}, \quad a = y \operatorname{sen} (60^{\circ} - \psi^{\circ})$$

$$a = -y \operatorname{sen} (60^{\circ} + \psi^{\circ})$$

Para esta fórmula se tiene:

$$y = \sqrt{-\frac{a^3}{b}}, \quad \operatorname{sen} 3 \varphi^{\circ} = C \times \left(-\frac{3}{b}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$b = -6,25C^2, \quad C = -5C^1$$

} ---- (13)



La discusion de estas fórmulas se hace bajo el supuesto de que reemplazando  $a$  por el valor obtenido de las ecuaciones (13) en la ecuacion (11), se aceptará como valor buscado aquel que satisfaga esta última ecuacion, i que  $a$  mas sea positivo i siga la escala ascendente o descendente fijada por los valores obtenidos en la fórmula (11).

Como las fórmulas (13) solo pueden tener aplicacion en uno que otro caso, en las tomas de grandes canales que se derivan de los rios, obras que siempre se ejecutan bajo la direccion de un ingeniero, creemos suficientemente dilucidada la cuestion con respecto a este punto.

23.—Nos ocuparemos ahora de la particion del agua de un canal comunero secundario, de volúmen constante. Figs. 10 i 11.

Establecido un trozo de canal en las mismas condiciones que la segunda seccion del marco de toma i con el ancho correspondiente al número de regadores que tiene por dotacion este canal, se construirá al fin de él el canal pasante i el canal saliente con la misma pendiente de un milímetro por metro.

El ancho de estos dos canales se establecerá con arreglo a su dotacion i segun las dimensiones fijadas por la fórmula (12). A los diez metros mas abajo de la punta partidora se colocará, tanto en el pasante como en el saliente, una escala dividida que servirá para observar las alturas del agua que debe ser en ambos una misma. Como la situacion especial de cada toma hace que el pasante lleve jeneralmente mas agua que la que corresponde por la mayor hondura que toma el agua al centro de la corriente, las escalas pondrán de manifiesto este hecho i para establecer la equitativa particion, la punta partidora será movable en torno de un eje vertical, permitiendo con su movimiento establecer la debida igualdad.

El movimiento de esta punta se hará por medio de una palanca maniobrada por el cuidador.

Arreglada la punta al principio de la distribucion, no habrá mas que conservarla limpia para asegurar la regularidad de su trabajo.

Los canales de que venimos ocupándonos son de réjimen constante i a volúmen fijo, i por consiguiente la altura del agua en el partidior tiene que ser forzosamente constante. Las razones apun-

tadas anteriormente satisfacen por completo las condiciones de una buena particion a volúmen fijo.

El ángulo bajo el cual se efectúa una particion de este jénero depende esclusivamente de las circunstancias locales, quedando a voluntad del que deriva las aguas.

Para mas detalles nos referimos a las figuras 10 i 11 que dan una proyeccion horizontal i otra vertical de un partidior de este jénero.

### III.

24.—Pasamos a ocuparnos de la distribucion a volúmen variable, o sea, la particion proporcional de cantidades variables de agua.

En este caso, el *regador* deja de ser una unidad real i positiva, pasa a ser un convenio, una manera de espresarse. Así, se dice que un canal de réjimen variable tiene 1000 regadores, i que de él se deriva otro de 200 regadores; esto equivale a decir que el caudal del canal tronco debe dividirse en dos ramas, de las que el caudal de la mayor está representada por el número 800, por 8 o por 4, estando el de la menor respectivamente representado por 200 por 2 o por 1, es decir, el problema equivale a dividir en cada instante el caudal del canal matriz entre dos canales que lleve uno un quinto i el otro cuatro quintos del canal matriz. En este caso, como se ve, no se trata de un volúmen determinado de agua, i por consiguiente no se necesita conocer el caudal absoluto sino simplemente la razon de la reparticion.

Por lo espuesto se deja comprender que la palabra *regador*, en este caso, no es mas que una ficcion, como lo es la palabra *standard* entre los compradores i vendedores de minerales en Inglaterra.

25.—Para resolver esta cuestion, es preciso comparar dos caudales distintos de agua en las diversas circunstancias en que pueden encontrarse i deducir de alli la relacion de sus elementos en funcion de el valor de estos caudales.

Sean  $C$ =Caudal por segundo.

$S$ =Seccion trasversal.

$P$ =Perimetro mojado.

$L$ =Largo correspondiente a unidad de desnivel.

Se tiene:

$$C=50S \sqrt{\frac{S}{LP}} \quad (14)$$

Representando por  $C'$ ,  $S'$ ,  $P'$  i  $L'$  los valores análogos para otro canal, se tendrá:

$$C'=50S' \sqrt{\frac{S'}{L'P'}} \quad (15)$$

Si los canales de que tratamos son de régimen constante i de volúmen variable, podremos establecer la siguiente comparacion:

$$\frac{C}{C'} = \frac{S}{S'} \sqrt{\frac{SL'P'}{S'LP}} \quad (16)$$

Los diversos casos que pueden suceder i que conviene analizar son: 1.°  $S=S'$ , 2.°  $L=L'$ , 3.°  $P=P'$  i sus combinaciones.

Supongamos el primer caso i se tendrá:

$$\frac{C}{C'} = \sqrt{\frac{L'P'}{LP}} \quad (17)$$

Esto es, que en canales que tienen una misma seccion trasversal, los caudales están en razon inversa de las raices cuadradas de los productos de sus perimetros mojados por los largados correspondientes a la unidad de desnivel.

En el segundo caso tendremos:

$$\frac{C}{C'} = \sqrt{\frac{S^3P'}{S'^3P}} \quad (18)$$

Esto es, cuando los largos por unidad de desnivel son iguales, la razon de los caudales es espesada por la raiz cuadrada del producto del cubo de la seccion trasversal del primer canal por el perimetro mojado del segundo, dividido por el cubo de la seccion trasversal del segundo, multiplicado por el perimetro mojado del primero.

Si se verifica el tercer caso, resulta:

$$\frac{C}{C'} = \sqrt{\frac{S^3L'}{S'^3L}} \quad (19)$$

que se traduce de una manera análoga a la anterior, reemplazando los perímetros mojados por los largos correspondientes a la unidad de desnivel.

Verificándose simultáneamente la primera i la segunda, resulta:

$$\frac{C}{C'} = \sqrt{\frac{P'}{P}} \quad (20)$$

es decir, que los caudales se encuentran en razon inversa de las raices cuadradas de los perímetros mojados.

Verificándose la primera i la tercera, tenemos:

$$\frac{C}{C'} = \sqrt{\frac{L'}{L}} \quad (21)$$

cuya traduccion es análoga a la de la anterior, reemplazando los perímetros mojados por los largos correspondientes a la unidad de desnivel.

Verificándose la segunda i la tercera, tendremos:

$$\frac{C}{C'} = \sqrt{\frac{S^3}{S'^3}} \quad (22)$$

que se traduce por los caudales son entre si como las raices cuadradas de los cubos de las secciones trasversales.

26.—Las fórmulas (16, 17, 18, 19, 20, 21 i 22) suministran siete casos distintos de particiones proporcionales.

La fórmula (16) indica una manera de particion inadmisibile en la práctica, por cuanto entran en ella seis elementos variables, de los cuales, dos, S i S', P i P', dependen a su vez de otros dos elementos.

La fórmula (17) manifiesta un sistema de particion tambien inadmisibile, por cuanto con elementos variables es difícil conseguir la igualdad de las secciones trasversales.

Igual observacion en cuanto a los perímetros mojados se observa respecto a la fórmula (19).

Con relacion a la fórmula (20) tienen lugar las mismas observaciones que para la fórmula (17).

Observaciones análogas tienen lugar respecto a las fórmulas (21

i 22), de manera que solo queda subsistente la fórmula (18) que solo exige largos iguales por unidad de desnivel, o sea, pendientes iguales para el fondo del canal.

Por estar los canales ejecutados de antemano con dimensiones transversales fijas i pendientes iguales para ambos o cualesquiera otras circunstancias, las variaciones de caudal en ellos introducen modificaciones en las secciones transversales de las venas de agua i en sus perímetros mojados.

27.—Como la repartición se hace por costumbre i conveniencia en canales rectangulares, en los cuales puede conseguirse que el agua ocupe una misma altura en ambos canales, cualesquiera que sean las variaciones que ocurran en el canal matriz, igualdad de altura que es fácil realizar en la práctica, tomaremos la fórmula (18) e introduciremos en ellas las circunstancias enumeradas.

Sea:

$n = \frac{C}{C'}$  = Razon en que deben dividirse las aguas de un canal principal;  $h$  = hondura del agua comun a los dos canales que conducen las aguas ya divididas;

$a$  i  $a'$  anchos respectivos de estos canales.

Se tiene:

$$\begin{aligned} S &= ha & S' &= ha' \\ P &= 2h + a & P' &= 2h + a' \end{aligned}$$

Introduciendo estos valores en la fórmula (18) se tiene

$$n = \frac{ha}{ha'} \sqrt{\frac{ha(2h+a')}{ha'(2h+a)}} = \frac{a}{a'} \sqrt{\frac{a(2h+a')}{a'(2h+a)}} = \sqrt{\frac{a^3(2h+a')}{a'^3(2h+a)}}$$

Para la discusion de esta fórmula supondremos que el ancho  $a$  del canal mayor, que nace después del marco partidor, lo hemos fijado de antemano.

Que tanto el canal saliente como el pasante tienen una misma pendiente tal que en ellos se establezca el régimen constante para cada una de las alturas que toma el agua en ambos canales, manteniendo en ellos en cada caso la igualdad de las alturas ocupadas por el agua.

Bajo esta bases,  $a'$  será la variable que necesitamos determinar. Podemos anunciar de antemano que el canal saliente no de-

be tener una seccion rectangular para que la relacion que establece la fórmula (18) pueda verificarse.

En efecto, la fórmula

$$n = \sqrt{\frac{a^2}{a'^2} \times \frac{2h+a'}{2h+a}} \quad (23),$$

para el caso de una hondura  $h=0$  da

$$n = \sqrt{\frac{a^2 a'}{a' a}} = \sqrt{\frac{a^2}{a' a}}.$$

Luego, para  $h=0$ , es decir, para gruesos insignificantes de agua, el ancho del canal saliente i el del canal pasante guardan la misma razon en que debe hacerse la particion.

Demos a  $h$  un valor infinito i tendremos:

$$n = \sqrt{\frac{a^2}{a'^2} \times \frac{\infty + a'}{\infty + a}} = \sqrt{\frac{a^2}{a'^2} = \frac{a}{a'}} = \sqrt{\frac{a}{a'}}.$$

Como  $n$  es constante, es necesario que  $\frac{a}{a'}$  haya disminuido para que la constancia de  $n$  subsista, desde el momento que el factor  $\frac{2h+a'}{2h+a}$  ha aumentado hasta llegar a ser igual a uno; luego el ancho  $a'$  del canal menor debe haber crecido a medida que crecía  $h$ .

Debemos prevenir, para los efectos de la presente discusion, que  $n > 1$ , pues hemos partido de la suposicion de ser  $a > a'$  i por consiguiente  $C > C'$ .

En la práctica no es posible ejecutar obras con secciones que varien en la forma que necesita esta particion; pero como la hidráulica nos enseña que una seccion limitada lateralmente por curvas de cierto jénero tiene equivalencia con secciones rectangulares, de modo que el ancho medio de la parte de la seccion ocupada por el agua representa el ancho de la seccion rectangular equivalente, en el sentido que en hidráulica se atribuye a esta palabra.

28.—Para determinar la curva que cierra lateralmente la sec-

cion trasversal de que nos ocupamos, nos valdremos de la ecuacion (23).

Como tratamos de determinar los anchos medios de las secciones que prácticamente se encuentran a médua hondura del agua, tomaremos  $x = \frac{1}{2} a'$  e  $y = \frac{1}{2} h$ , i por ejes coordinados la base del canal saliente i una vertical que pase por el medio de ella. De este modo determinaremos la curva que limita uno de los costados del canal saliente, siendo el otro igual por razon de simetria.

Introduciendo los valores anteriores en la fórmula (23) tendremos:

$$n = \sqrt{\frac{a^3}{8X^3} \times \frac{4v+2X}{4y+a}} \quad (24)$$

que representa la ecuacion de la curva buscada, a la cual daremos otra forma que la haga de fácil aplicacion, i tendremos por resultado:

$$x^3 - \frac{a^3}{4n^2(4y+a)} x - \frac{a^3}{2n^2(4y+a)} y = 0 \quad (25);$$

fórmula que se resuelve segun la regla de Cardanius que es:

$$x = \sqrt{-\frac{C}{2} + \sqrt{\left(\frac{B}{3}\right)^2 + \left(\frac{C}{2}\right)^2}} + \sqrt{-\frac{C}{2} - \sqrt{\left(\frac{B}{3}\right)^2 + \left(\frac{C}{2}\right)^2}} \quad (26)$$

para la que se tiene:

$$B = -\frac{a^3}{4n^2(4y+a)} \quad i \quad C = -\frac{a^3}{2n^2(4y+a)} y \quad (27)$$

En el caso en que la ecuacion (26) de valores imajinarios, las raices reales se obtienen por:

$$(28) \left\{ \begin{array}{l} x=y \text{ son } \varphi^{\circ}, x=y \text{ sen}(60^{\circ}-\varphi^{\circ}), x=y \text{ sen}(60^{\circ}+\varphi^{\circ}). \\ \text{Para estas fórmulas se tiene:} \\ y = \sqrt{-\frac{4}{3} B}, \quad \text{sen } 3\varphi^{\circ} = \frac{C}{2} \times \left(-\frac{3}{B}\right) \frac{3}{2} \end{array} \right.$$

29.—Para aplicar estas fórmulas se fija de antemano la hondura  $h$  máxima que deban tener los canales, en seguida se divide

esta hondura  $h$  en cinco partes, se determinan los valores de  $B$  i  $C$  por las fórmulas (28), introduciendo en ellas:

$$y=0, y=\frac{1}{5}h, y=\frac{2}{5}h, y=\frac{3}{5}h, y=\frac{4}{5}h, y=h,$$

lo que dará seis parejas de valores para  $B$  i  $C$ ; que sustituidos en la fórmula (26) dará seis valores de  $x$  que fijan otros tantos puntos de la curva que sirve de límite a uno i otro lado del canal. Como los radios de curvatura de esta curva, dados por la ecuacion:

$$S = \frac{+ d^2 X}{dy^2},$$

son mui grandes, bastará la determinacion de los seis puntos indicados para obtener un perfil prácticamente exacto.

30.—Bastará un ejemplo para poner de manifiesto el uso de la fórmula anterior.

Supongamos que un canal de 500 *regadores*, como se entiende en el canal de Maipo, deba dividirse entre dos canales, de los cuales uno lleve 300 *regadores* i el otro 200. La hondura máxima que regularmente tienen estos canales entre nosotros, es de 0.<sup>m</sup>80.

Supondremos que al canal mayor se le ha fijado el ancho de 2 metros i que su seccion sea rectangular, como hemos supuesto en la teoría precedente.

Para este caso se tiene:

$$a=2\text{mts}, a=\frac{3}{2}=1.5, y=h=0.8, y=\frac{4}{5}h=0.64, y=\frac{3}{5}h=0.48.$$

$$y=\frac{2}{5}h=0.32, y=\frac{1}{5}h=0.16 \text{ e } y=0.$$

Introduciendo los valores de  $a, y, n$ , se tiene:

Para $y=0,80$	$B=-0,1709$	$C=-0,2735$
Id. $y=0,64$	$B=-0,1949$	$C=-0,2495$
Id. $y=0,48$	$B=-0,2239$	$C=-0,2176$
Id. $y=0,32$	$B=-0,2710$	$C=-0,1734$
Id. $y=0,16$	$B=-0,3451$	$C=-0,1077$
Id. $y=0$	$B=-0,4444$	$C=0.$

Lo que da:



$y=0,80$	$x=$	0,736
$y=0,64$	$x=$	0,732
$y=0,48$	$x=$	0,724
$y=0,32$	$x=$	0,716
$y=0,16$	$x=$	0,705
$y=0$	$x=$	0,667

El perfil del canal que debiera llevar 200 regadores seria el determinado por las figuras 12 i 13.

31.—La manera práctica de realizar la particion en la forma que la proponemos será: fijado el punto en que ésta deba hacerse se establecerá aguas abajo de él un canal rectangular cuya pendiente en su fondo satisfaga la condicion (10), i que tenga por ancho el que le corresponda a la mayor rama, i por hondura máxima la que las circunstancias locales fijen. En seguida con una desviacion cualquiera, fijada por las necesidades de la derivacion, se trazará el eje del de menor caudal cuyo fondo tenga la misma pendiente que el fondo del canal pasante i cuyo perfil trasversal se determina conforme al ejemplo dado en el núm. (30).

La parte principal de esta distribucion consiste en tener una misma hondura en los dos canales, lo que se consigue por medio de la punta movable establecida en el núm. (23) para la particion de aguas en canales de régimen constante. Figs. 10 i 11.

La hondura del agua en los canales estará fijada por escalas verticales colocadas en los canales a diez metros de distancia de la punta partidora.

El largo que debe tener la obra de albañilería que sirve para esta particion debe ser de 20 metros, contados desde la punta partidora.

32.—Para terminar la particion de aguas a volúmen variable, describiremos los distintos aparatos que se han usado hasta el presente i que tomamos de *Spons' Dictionary of Engineering*.

En los antiguos trabajos moriscos no se atendia a la medida del agua en el sentido que se atiende al presente. La cantidad de agua en el rio o canal se dividia proporcionalmente a las tierras que se regaban; si el rio traia mas agua, cada canal recibia mas; si menos, menos. Algunos de sus sistemas de division de aguas son suficientemente ingeniosos. El sistema adoptado en *Elche* fué el usado por los moros antes de su espulsion de España. La can-

tividad de agua del río se dividía en doce porciones iguales llamadas *Hilos de agua*, cada hilo era por consiguiente la duodécima parte del agua que corría por el río en las veinticuatro horas.

Estos hilos son vendidos todas las mañanas en remate público i los precios que alcanzan son casi increíbles. El sistema por el cual se saca la debida porción de agua para cada canal se manifiesta en las figs. 15 i 16. El agua se conduce por un canal de albañilería, nivelado con una velocidad muy reducida hasta caer en una cascada. A un metro de esta cascada cae en otra. En el espacio intermedio entre ambas cascadas se fija un pequeño machón que divide el ancho del canal en dos porciones, siendo la menor, mas o menos, la que corresponde al canal para el cual se saca el agua. La punta de este estribo la forma una hoja móvil terminada en filo que cuando se encuentra en línea recta con el machón, casi toca con la primera cascada. Es evidente que por el movimiento de esta hoja la vena de agua que pasa por la cascada puede ser dividida, entre ciertos límites, con considerable exactitud. Después de cada venta, el encargado de la distribución da vuelta a los partidores i fija las hojas móviles, dando a cada canal el agua que le corresponde i así permanecen por veinticuatro horas hasta que se efectúa una nueva venta que hace necesario otra nueva distribución.

Las figs. 16 bis, 17 i 18 manifiestan el método de distribución de aguas que se observa en Lorca. En este caso el ancho del canal se divide en un número de partes iguales al número de hilos que se suponen en el río. A un lado se encuentra la abertura por la cual se saca el agua para el canal secundario. Cada una de las aberturas es susceptible de ser cerrada por pequeñas barras de madera que caen en una ranura abierta en el fondo del canal i sujeta en su estremidad superior por dos barras de fierro. Hai exactamente tantas barras de madera como hilos de agua se suponen en el canal: si, por ejemplo, el canal matriz lleva veinticuatro hilos, i se necesita sacar diez para el canal secundario, se quitan catorce barras del canal principal i diez del secundario. Es evidente que este sistema es susceptible de multitud de objeciones, pero es ingenioso, e interesante si se considera que ha estado en uso desde mas de ochocientos años.

## IV.

33.—Después de las descripciones de particiones de aguas a volumen fijo i de las particiones proporcionales, nos quedan por tratar las particiones de aguas por turno, como sucede en los rios de Copiapó, Huasco, etc.

Con este fin, toda la estension de terreno que se riega con rios, cuyas aguas se quieren distribuir, se divide en distritos próximamente iguales i que prestan facilidades para establecer las tomas parciales que deben servir a cada uno de éstos. En rigor, la exactitud de la division de estos distritos no es matemática, i en ella debe atenderse principalmente a la vijilancia i condiciones especiales de los fundos agrupados. Hecha la primera particion de terreno i valorizadas sus estensiones, ya sea por la superficie absoluta de terrenos irrigables, ya sea por números que representen los derechos proporcionales de cada uno, se procede a la misma operacion entre los diversos fundos que componen cada division de orden anterior.

Fijos los números anteriores, se trata en seguida de fijar el turno, es decir, el número de dias segun los cuales debe hacerse la rotacion. Para este fin, debe tomarse en consideracion la manera como debe hacerse el turno, es decir, si el turno principia por los fundos mas bajos o por los superiores. Además debe tenerse presente las costumbres agrícolas de la localidad i sobre todo el jénero de cultivo que en ella se emplea de preferencia.

Estas dos últimas observaciones son exclusivas de los interesados i el estudio i consultas especiales sobre la localidad son los únicos guias que pueden consultarse i que fijarán si el turno debe ser mensual, quincenal o semanal.

34.—Supongamos, para fijar nuestras ideas, que el este valor ha sido determinado segun las reglas i consideraciones anteriores i que se trata de saber cuál es la manera mas conveniente de arreglar este turno.

Si se procede en el turno de arriba hácia abajo, hai que entera valorizar el valor de la cola de agua que solo los propietarios del distrito inferior pueden aprovechar, valorizacion que larga experiencia en las provincias del norte ha manifestado ser impráctica.

ble i prestarse a sérios abusos por lo difícil de la vijilancia. Esta vijilancia es tanto mas necesaria cuanto que los últimos propietarios en rios de largo curso solo tienen por turno esta cola de agua o *cortada*, como se le designa en Copiapó.

Si se procede en órden inverso, i sobre todo, cuando los distritos regadores tienen un largo en cierto modo proporcional a su estension, cada uno de ellos tiene su *cortada* propia, proporcional a sus derechos, además de la dotacion a rio lleno, lo que establece la equidad difícil de obtener con el primer sistema.

35.—Establecida la forma del turno i la duracion de él para cada distrito, se establece cierto número de tomas en cada uno, segun el sistema de particion proporcional i volúmen variable. Cada una de estas tomas representará un fundo o una série de fundos, de manera que la reparticion en cada distrito no exija un número considerable de estas obras, que no pase de seis, por ejemplo.

Respecto de las tomas que pertenecen a una sola propiedad i que tienen agua por el mismo tiempo que el distrito a que pertenecen, nada tenemos que decir; se llevan sus aguas con su parte de *cortada* correspondiente al instante en que se tapó el agua en el distrito inmediatamente superior.

En las tomas comuneras se hará el turno; o por division proporcional durante todo el tiempo, o con el agua completa de la toma i partes del tiempo total, guardando en esta reparticion el mismo órden que en la jeneral, sobre todo cuando se emplea el segundo sistema.

Llegado el tiempo en que termina el período correspondiente al distrito, se abren las compuertas de las tomas que pertenecen al distrito inmediatamente superior, en el cual se opera como acabamos de describir.

36.—Cuando se principia de abajo hácia arriba, el turno del primer distrito se cuenta desde el momento en que el agua llega al marco partidior de donde nacen los canales secundarios, de manera que el tiempo empleado por el agua en llegar desde el distrito superior al inferior debe contarse en la duracion jeneral del turno periódico.

Teniendo presente siempre lo que hemos dicho para la parti-

cion proporcional a volúmen variable, se ve que la particion a turno es un caso especial de aquella.

## V.

37.—El progreso de la agricultura conduce al aumento natural de valor de las aguas aprovechables en el regadio; de donde proviene que cada cual se injenia para regar con las menores cantidades de agua posible, arrendando o vendiendo los sobrantes.

Esta circunstancia produce una série de problemas diferentes que es necesario tomar en cuenta en la práctica de la distribucion de aguas. Como esta parte está perfectamente tratada en *las irrigaciones de Italia*, obra escrita por el señor Nadault de Buffon, nos limitaremos a traducir lo que este señor espone sobre tan importante asunto.

38.—La version de que nos ocupamos no es exacta en su sentido absoluto, por cuanto hai que hacer variaciones en la terminolojia en varios puntos, requeridas por nuestras costumbres agricolas.

39.—Cuando la irrigacion es de poca importancia en una comarca determinada, solo dos casos llaman la atencion: tener el agua i emplearla por si mismo, con la trasmision pura i simple a terceros, lo que en Chile es poco frecuente, por seguir en jeneral al terreno. Raras veces aparecen otras transacciones que no sean la venta o arriendo del agua.

No sucede lo mismo en los países en los cuales la irrigacion ha llegado a ser jeneral, cuyos beneficios se estienden a la gran masa de la propiedad. En este caso, el gran número de intereses diversos que con ella se ligan, motivan una multitud de problemas nuevos, los que sin este adelanto o popularizacion no habrian tenido lugar. De este modo ha llegado a establecerse diferencias entre los diversos elementos, que son: 1.º la duracion del *turno secundario*, es decir, el número de dias u horas continuas durante las cuales usa un agricultor de una porcion de agua; 2.º el *turno jeneral*, o sea, el periodo de rotacion despues del cual aparece de nuevo el uso del turno secundario; 3.º el precio de venta o de arriendo del agua, que es variable segun se trate de aguas permanentes o de turno, de aguas de invierno o de verano. Estos ele-

mentos que podrían ser enumerados en mayor escala, motivan desde luego problemas diversos que se presentan frecuentemente en la práctica.

Constante es ver en todas partes que las propiedades de gran valor, reputadas como la mejor colocación de fondos, dan lugar al mayor número de cambios comerciales. En esta clase, los terrenos regados o irrigables ocupan el primer puesto. La partición entre coherederos produce una serie de dificultades que es necesario resolver. No es raro ver en Lombardía, por ejemplo, que la muerte de un gran propietario haya hecho necesario el empleo de seis ingenieros por varios años consecutivos para llevar a eficaz término la partición entre los coherederos.

Independiente de la división de las aguas i su venta, o sean, las mutaciones en los prédios regados, muchas otras circunstancias dan origen a problemas especiales que es necesario resolver. La adopción de los *cultivos turnados* (*assalements*), como el cultivo del arroz, de irrigación permanente, que se intercala entre cultivos de irrigación periódica, bastan por sí solo para dar origen a una multitud de esta clase de problemas. Además, resultan muchas causas nacidas de la conveniencia o del interés de los agricultores. Tales son: el marchitarse los cultivos por tener que regar a horas en que la exposición al sol produce tales fenómenos, hace que permuten las horas con otro propietario cuyo cultivo no sufre los mismos daños; el hecho de que la cantidad de agua permanente sea poca i produzca pérdida de tiempo, obliga a cambiar por un turno abundante; la imitación de nuevos modos de cultivo, introducidos con buen éxito, pueden exigir iguales cambios, etc.

Tales son los principales motivos que diariamente modifican las condiciones del uso de las aguas en las comarcas en que las irrigaciones tienen importancia.

Para la resolución de estos problemas pueden emplearse algunas fórmulas de uso fácil, por depender de simples proporciones.

Están al alcance de todos, lo que es esencial, visto el objeto práctico de la materia. Estas mismas fórmulas resuelven todos los casos posibles en materia de uso de aguas, de los cuales muchos serian complicados sino se recurriera a su uso.

Sea:

$R$  = Valor del turno jeneral en días.

T=Id. del turno secundario en días.

N=El número de regadores a turno.

Q=El número de regadores permanentes que equivalen a los anteriores.

Se tiene:

$$Q = \frac{N.T}{R} \quad (29)$$

Si se quiere introducir el precio del agua, para saber el valor real de la atribucion hecha a tal o cual persona, llamaremos P el precio por unidad permanente, i se tendrá:

$$P.Q = \frac{P.N.T}{R}$$

El primer término da el valor de la atribucion reducida a agua continua i el segundo su valor equivalente en agua de turno. Sea U el primer valor i saldrá:

$$U = \frac{P.N.T}{R} \quad (30)$$

Como sucede jeneralmente que los turnos secundarios se cuentan por horas, bastará tomar la fórmula anterior de esta manera:

$$\frac{U}{24.T} = \frac{N.P}{24.R}$$

Si V es el valor de una hora de agua,

haremos  $V = \frac{U}{24.T}$ ,

i se tendrá:  $V = \frac{N.P}{24.R}$ . (31)

Por medio de los valores de Q, U, V, se pueden obtener otras formas de las ecuaciones anteriores, por simples sustituciones, que las hagan mas ventajosos, segun el uso mas o menos complicado a que se le destina.

De este modo puede tenerse, según convenga:

$$Q = \frac{24.TU}{P}; U = 24.T.V; V = \frac{U}{24.T}$$

Falta aún que distinguir entre aguas de verano i aguas de invierno, por tener precios i usos diferentes. El poco uso de que se hace de estas últimas, uso limitado en ciertas i muy determinadas comarcas i lo complicado de las fórmulas para este caso, nos obliga a tratar solo los casos frecuentes de las aguas de verano, previniendo que la combinación de las fórmulas que sirven para este caso, producen las que deben emplearse en el segundo.

40.—PROBLEMA I.—Un agricultor tiene derecho por turnos jenerales de 15 días a un turno especial de 6, con 6 regadores de agua. Desea cambiar este turno por agua continua.

Se sustituye en la ecuación (29) los valores:

$$N=6; T=6; R=15.$$

Así se obtiene:

$$Q = \frac{6.6}{15} = 2,4 \text{ regadores}$$

PROBLEMA II.—Un usufructuario tiene el uso de 3,6 regadores de agua continua. Se le concede uso de 12 regadores por 4,2 días, se pregunta, cuál es el valor del turno jeneral para este caso. El uso de la fórmula (29) da:

$$R = \frac{12 \times 4,2}{3,6} = 14 \text{ días.}$$

PROBLEMA III.—Se quieren permutar 4 regadores continuos por 20 a turno jeneral de 15, i se quiere saber el valor del turno secundario correspondiente. La misma fórmula da:

$$T = \frac{4 \times 15}{20} = 3 \text{ días.}$$

PROBLEMA IV.—Un usufructuario posee 6 regadores por 6 días durante un turno jeneral de 15; otro necesita cuádrupla cantidad de agua, pero está obligado a recibirla por un turno secunda-



sio de 5 días sobre uno jeneral de 12 días. ¿Qué número de regadores debe suministrarsele? Para esto debe verificarse que:

$$\frac{nt}{r} = \frac{N.T}{R} :: 1:4.$$

Esto da:

$$\frac{6 \ 6 \ 5n}{15 \ 12} :: \frac{1}{4} :: \frac{1}{4}$$

i

$$1:4 :: 144:25 n,$$

i

$$n=23,04 \text{ regadores}$$

PROBLEMA V.—Un propietario posee 7 regadores con turno secundario de 6,5 días durante un turno jeneral de 15 días, i quiere cambiar su agua por 10 regadores con turno jeneral de 15 días. ¿Cuál es el valor del nuevo turno secundario?

Se debe tener  $Q=q$  i por consiguiente:

$$\frac{N.T}{R} = \frac{n.t}{r},$$

o sea

$$T = \frac{7 \times 6,5 \times 14}{15 \times 10} = 4,247 \text{ días,}$$

o bien 4 días, 5 horas, 6 minutos.

PROBLEMA VI.—Se tiene un canal de 20 regadores, en el cual existe un turno jeneral de 12 días entre tres propietarios: el primero tiene un turno especial de 6 días, el segundo de 4 días i el tercero de 2. Estos dos últimos introducen nuevamente en el canal 8 regadores con derechos iguales para ambos. Desean: 1.º que el turno jeneral sea de 14 días en vez de 12; 2.º que el primer propietario quede excluido del goce de la nueva agua, i sometido al turno jeneral nuevo, sin perjuicio de sus derechos anteriores. ¿Cuál será el nuevo período secundario para cada uno de ellos? Se tiene:

$$\frac{20 \times 6}{12} = \frac{28T}{14}$$

De aquí:

$$T = \frac{20 \times 6 \times 14}{12 \times 28} = 5$$

Esto es, que el primer propietario con 28 regadores bajo el nuevo turno jeneral de 14 días, tendrá un turno secundario de 5.

En cuanto al segundo, se ve que su primer atribucion está aumentada en 4 regadores, lo que da:

$$\frac{4 \times 20}{12} + 4 = \frac{28 \cdot T}{14};$$

o sea:

$T = 5\frac{1}{2}$  días de turno secundario en el nuevo órden.

Igual procedimiento da para el tercero:

$$\frac{2 \times 20}{12} + 4 = \frac{28 \times T}{14},$$

o bien:

$$T = 3\frac{2}{3} \text{ días}$$

Como comprobacion se tiene:

$$5 + 5\frac{1}{2} + 3\frac{2}{3} = 14.$$

41.—PROBLEMA VII.—Un propietario da en arriendo a un usufructuario el uso de un canal de 9 regadores con turno secundario de 4 días sobre un turno jeneral de 12. El precio del arriendo por regador sin turno es de \$ 1200. ¿Cuál será el monto del arriendo?

Sustituyendo los valores en la fórmula correspondiente, sale:

$$U = \frac{9 \times 4 \times 1.200}{12} = 3600 \text{ \$}$$

PROBLEMA VIII.—¿Cuántos regadores podrán ser tomados en arriendo con la suma de \$ 3000 a turno secundario de 3 días sobre un turno jeneral de 12 días, siendo el precio del agua continua el de \$ 1200 por regador? La fórmula es:

$$U = \frac{N.T.P.}{R},$$

que da:

$$N = \frac{U.R.}{T.P}$$

Sustituyendo los valores correspondientes, sale:

$$N = \frac{3000 \times 12}{3 \times 1200} = 10 \text{ regadores.}$$

PROBLEMA IX.—Se pagan \$ 3000 por el uso de 10 regadores a turno secundario de 4 días sobre el turno jeneral de 15. ¿Cuál es el precio de un regador de agua continua? La fórmula que se usa es:

$$P = \frac{R.V.}{N.T}$$

lo que da:

$$P = 1125 \text{ peses.}$$

PROBLEMA X.—Se pagan anualmente \$ 4800 por el uso de 8 regadores con turno secundario de 6 días i a razon de \$ 1200 el permanente. ¿Cuál es el turno jeneral?

Da la fórmula:

$$U = \frac{N.T.P.}{R}$$

Se saca:

$$R = \frac{N.T.P.}{U}$$

que, por sustitucion, se transforma en:

$$R = \frac{8 \times 6 \times 1200}{4800} = 12 \text{ dias.}$$

PROBLEMA XI.—El agricultor A paga anualmente \$ 6000 por el goce de ciertos derechos de agua que son  $\frac{3}{5}$  de los del propietario B. El turno secundario de las aguas del primero es de 4

días sobre el jeneral que es de 12 días. El propietario B goza de un turno secundario de 6 días sobre uno jeneral de 14; tiene a mas el derecho de 2 regadores perpétuos. ¿Cuál será el número de regadores de cada uno i el precio del regador para el segundo? La fórmula que se usa es:

$$U = \frac{N.T.P.}{R}$$

lo que da:

$$6.000 = \frac{4 \times N \times P}{12}$$

i  $18.000 = N \times P.$

Atendida la relacion que existe entre los derechos de A i los de B, se tiene:

$$\frac{4 \times N}{12} : \frac{6 \times N}{14} + 2 :: 3 : 5;$$

o bien

$$7 \times N : 9 \times N + 42 :: 3 : 5;$$

lo que da:

$$N = \frac{126}{8} = 15,75 \text{ regadores.}$$

Este valor se sustituye en las ecuacion  $18\ 000 = N \times P$ , i sale:

$$P = 1142,86 \text{ \$}.$$

PROBLEMA XII.—¿Cuál será el valor de una hora de agua en un canal de 13 regadores a turno jeneral de 14 días, siendo el precio del regador continuo \$ 1200?. Haciendo:

$$N = 13; R = 14; P = 1200,$$

se tiene:

$$V = \frac{13 \times 1200}{24 \times 14} = 46 \text{ \$},43.$$

PROBLEMA XIII.—¿Cuál será el precio de un regador en un canal de 6 regadores, sabiendo que una hora de agua sobre el turno jeneral de 14 días vale \$ 28?. Se tendrá:

$$P = \frac{24 \times R \times V}{N} = \frac{24 \times 14 \times 27}{6} = 1568 \text{ \$}.$$

PROBLEMA XIV.—¿Cuál debe ser el turno jeneral de un canal de 10 regadores, en el que el regador continuo vale \$ 1200 i se paga \$ 30 por hora? Se tiene:

$$R = \frac{P \times N}{24 \times V} = 16\frac{1}{2} \text{ dias.}$$

PROBLEMA XV.—¿Cuántos regadores de agua deben entregarse a un agricultor a turno secundario de 4 dias sobre un turno jeneral de 12, valiendo la hora del canal a razon de \$ 30 i el regador continuo \$ 864? Segun la ecuacion:

$$V = \frac{24 \times N}{P \times R},$$

se tiene:

$$\frac{N}{R} = \frac{24 \times V}{P}$$

Introduciendo este valor en la fórmula fundamental, sale:

$$Q = \frac{24 \times T \times V}{P}$$

en la cual se sustituyen los del problema i da para agua continua:

$$Q = \frac{24 \times 4 \times 30}{864} = 3\frac{1}{2} \text{ regadores continuos.}$$

Introduciendo este valor en la fórmula que da los regadores a turno, sale:

$$N = \frac{3\frac{1}{2} \times 12}{4} = 10 \text{ regadores a turno.}$$


---